

**VII SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM
SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS
À ENGENHARIA FLORESTAL**



**17 a 19 de outubro de 2006
Auditório da EMATER/PR
Curitiba – Paraná - Brasil**

MONITORIZAÇÃO DA DOENÇA DA TINTA DO CASTANHEIRO USANDO FOTOGRAFIA AÉREA DE PEQUENO FORMATO E MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS

MONITORING OF CHESTNUT INK DISEASE BY SMALL FORMAT AERIAL PHOTOGRAPHY AND GEOSTATISTICAL METHODS

Luís Miguel Martins¹, João Paulo Castro², Fernando Wolfgang Macedo¹, Carlos Pacheco Marques¹ e Carlos Gomes Abreu¹

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Dep. Florestal, Vila Real, Portugal; ² Escola Superior Agrária, Dep. Florestal, Bragança, Portugal

e-mail: 1 lmartins@utad.pt; fvmacedo@zmail.pt; cpmarque@utad.pt; cgabreu@utad.pt; 2 jpmc@ipb.pt

RESUMO

A intensidade da doença da tinta do castanheiro em Portugal e as causas da dispersão não são bem conhecidas. Neste estudo fez-se a monitorização do declínio usando Fotografia Aérea de Pequeno Formato (FAPF). A sintomatologia de dieback da copa, desfolha e descoloração generalizada, permite a quantificação da intensidade do ataque por FAPF, sobretudo as de infravermelho próximo e com escalas grandes.

A dispersão da doença no Norte de Portugal, entre 1995 e 2004, foi estimada por interpolação espacial, sendo a precisão da estimação avaliada por observações de campo e por indicadores geoestatísticos.

Verificou-se que desde 1995 até 2002 a mortalidade do castanheiro na área de estudo, atingiu 19.9 % e as novas plantações 31.8 %, havendo portanto um aumento da população. Todavia, a partir de 2002 a mortalidade aumentou, houve redução nas novas plantações e regressão na população. Os semivariogramas indicaram focos de maior intensidade da doença e anisotropia na direcção NE-SW. Ou seja, em áreas de castanheiro com mesma altitude, onde há mais intensificação das práticas culturais e mobilidade humana.

Palavras-chave: *Castanea sativa*, *Phytophthora cinnamomi*, krigagem, fotografia aérea.

ABSTRACT

The chestnut ink disease incidence in Portugal and the causes that affect the disease dispersion are not well known. In this study it was made the monitoring of the chestnut decline using Small Format Aerial Photography (SFAP). The SFAP is useful because on can quantify the disease symptoms at relative low cost. The SFAP with color infrared images provides the best results.

The dispersion of the ink disease in North Portugal between 1995 and 2004 was assessed. The sample data was interpolated by geostatistical methods, and the interpolation compared to field observations.

From 1995 to 2002 the chestnut mortality on study area was 19.9 % but this lost was counterbalanced by new plantations (31.8 %). Since 2002 the mortality was higher which means the reduction of chestnut tree (*Castanea sativa*) population. The geostatic interpolation indicated several clusters with chestnut orchards in decline. Also, was observed anisotropy in NE-SW azimuth. This direction occurs at chestnut plantations located at the same altitude, i.e., locals where soil mobilization and the dispersion of *Phytophthora cinnamomi* area easier.

Keywords: *Castanea sativa*, aerial photography, *Phytophthora cinnamomi*, geostatistical methods.

INTRODUÇÃO

Devido à crescente procura de castanha e madeira de castanheiro (*Castanea sativa* Mill.), em Portugal e na Europa, os agricultores intensificaram as práticas culturais de forma a aumetar a produção. Isso inclui o aumento da mobilização do solo com máquinas agrícolas pesadas, podas e fertilização mineral, que progressivamente substituíram as técnicas de cultivo tradicionais (Portela *et al.* 1998). Contudo, associadas às técnicas intensivas de cultivo, estabelecem-se condições favoráveis à dispersão da doença da tinta causada

por *Phytophthora cinnamomi* Rands e ocasionalmente por *P. cambivora* (Petri) Buis. Estes oomicetas do solo causam importantes perdas na produção e limitam o estabelecimento de novos povoamentos (Abreu, 1992; Martins *et al.*, 1999).

Outro aspecto associado ao declínio do castanheiro, consiste na colheita indiscriminada de cogumelos comestíveis, em virtude do seu elevado valor de mercado. Esta prática que carece de controlo, é responsável pela redução da população de fungos ectomicorrízicos e pode contribuir para o aumento da dispersão da tinta (Bärtschi *et al.*, 1981; Branzanti *et al.*, 1994; Brasier *et al.*, 1993; Martins *et al.*, 1999).

Apesar da grande incidência da doença no Norte de Portugal, são relativamente comuns povoamentos saudáveis a par de outros muito afectados. Diversos autores associam estas diferenças às práticas culturais e à interacção entre essas práticas e as características dos solos (Martins e Abreu, 1997; Portela *et al.*, 1998). Por exemplo, a compactação do solo devido ao uso sucessivo de maquinaria pesada, debilita o castanheiro e estimula o desenvolvimento de *P. cinnamomi* (Fonseca *et al.*, 2004). No entanto, quer a quantificação da incidência como a dispersão da doença numa escala regional, bem como as causas que lhes estão associadas, não são bem conhecidas.

A monitorização da dispersão da doença da tinta requer métodos de avaliação de baixo custo, pois há necessidade de actualização da informação em períodos relativamente curtos (1-2 anos). A detecção remota é por isso um processo adequado para a recolha de dados, pois os sintomas da doença, designadamente amarelecimento e rarefacção da copa, dieback dos ramos e gradual declínio das árvores afectadas, pode facilmente ser observado em imagens aéreas. Os sintomas na copa podem inclusivamente ser quantificados em Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPF). De facto, estudos de fitossanidade do castanheiro mostram que a quantificação dos estragos em FAPF não é significativamente diferente dos registos de campo (Ambrosini *et al.*, 1997; Martins *et al.*, 2001). FAPF policromadas, i.e., de Cor Normal (CN), ou de Infravermelho Colorido (IVP), obtidas com câmaras de 35 ou 70 mm são também relativamente comuns noutros estudos de fitossanidade florestal (Meyer, 1982; Warner *et al.*, 1996; Lillesand and Kiefer, 2000).

A variação geográfica da doença da tinta pode ser estimada por métodos de interpolação espacial, designadamente geoestatísticos. O método de estimação por krigagem, originalmente desenvolvido na prospecção do ouro em minas de África do Sul (Krige, 1951), estabelece a média ponderada dos parâmetros de campo georeferenciados. O método baseia-se num modelo espacial definido por um semivariograma. Em fitossanidade, pode supor-se que o nível dos danos é uma realização de uma variável aleatória regionalizada, $Z(x)$, para cada posição da árvore (x), e consequentemente a média regional é também uma variável aleatória (Richard, 1998).

No presente estudo, fez-se a monitorização do declínio do castanheiro desde 1995, usando FAPF para a recolha de informação georeferenciada. A incidência e dispersão da doença foram determinadas por métodos geoestatísticos, discutindo-se neste estudo os resultados dessa avaliação.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Seleccionou-se uma área de estudo no Norte de Portugal, com grande incidência de tinta, possuindo povoamentos com diferentes idades e solos com novas plantações. Compreende 6 freguesias do concelho de Valpaços, perfazendo 12162 ha. e localiza-se numa zona montanhosa nas coordenadas kilométricas UTM internacionais (WGS 84 datum), sup. esq.: 623.0, 4614.0; inf. dir.: 636.0, 4593.0. Na área delimitaram-se as manchas com castanheiro em ortofotomapas de IVP do Instituto Geográfico Português (1995), que autorizou a utilização dessas imagens para este trabalho.

Posteriormente instalaram-se transeptos de 1000 m de comprimento, coincidentes com manchas de castanheiro e com as linhas de voo previstas (Figura 1).

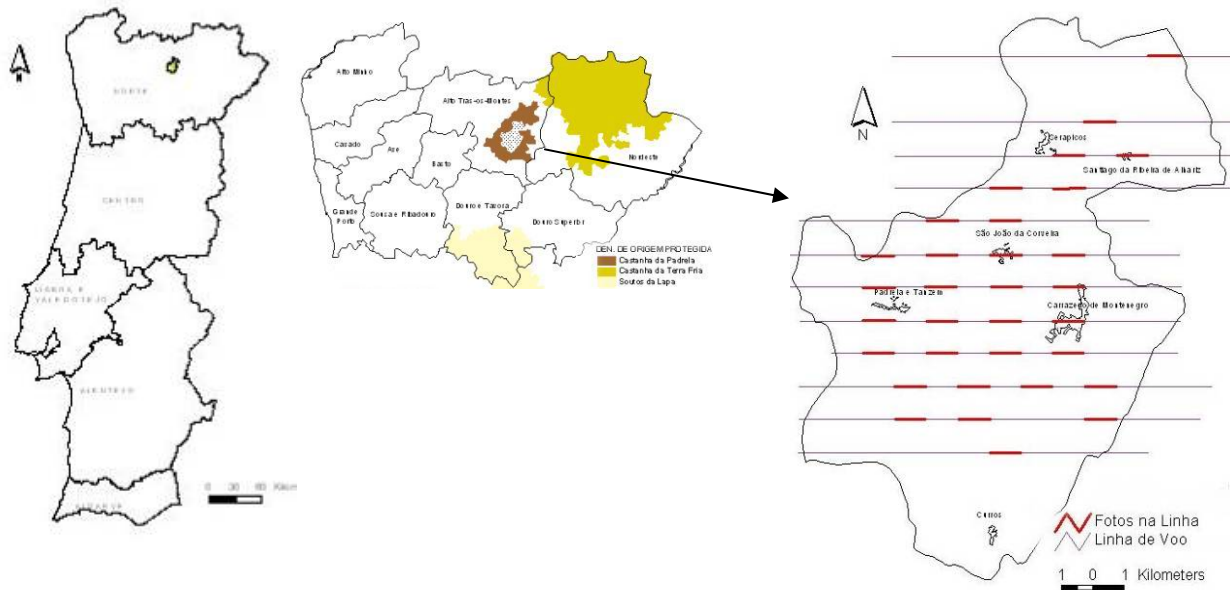


Figura 1. Área de estudo da “Castanha da Padrela” e transeptos para obtenção de imagens aéreas em cada linha de voo.

Nas fotos convencionais (1995) seleccionaram-se aleatoriamente 268 parcelas circulares com 1250 m². Nessas imagens IVP foram avaliadas 2892 árvores por interpretação visual num Sistema de Informação Geográfica (SIG), de acordo com a estrutura e características cromáticas das copas. Durante a fotointerpretação quantificaram-se cinco níveis de estrago, de acordo com uma escala internacional (0 = árvore perfeita; 1 = saudável; 2 = moderadamente afectada; 3 = muito afectada; 4 = morta) e critérios definidos no Regulamento CEE 1696/87.

OBTENÇÃO E FOTOINTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE DIFERENTES FORMATOS

Em 2002, 2003 e 2004 foram recolhidas FAPF policromadas (CN) e IVP nas 268 parcelas de amostragem, a uma altitude média de 520 m. Uma plataforma aerofotográfica foi adaptada ao compartimento das bagagens do avião Cessna 172 (Martins *et al.*, 2001), suportando uma câmara digital, outra de 35 mm e ainda outra de médio formato (70 mm). As câmaras foram equipadas com lentes de distância focal normal (28, 50 e 80 mm, respectivamente), sendo o disparo accionado por um intervalómetro electrónico, ajustado para obtenção de pares estereoscópicos com 60 % de sobreposição (Martins *et al.*, 2005). Um programa de SIG num PC portátil, conectado a um receptor GPS, foi usado para melhorar a navegação ao longo dos transeptos de amostragem pré-definidos.

As imagens IVP (35 mm) e CN (70 mm) foram digitalizadas a 70 ppm (píxeis por milímetro), i.e., com a mesma resolução da câmara digital. As imagens foram ortorectificadas e a intensidade da tinta avaliada num programa de SIG, de acordo com a escala descrita acima. A interpretação visual foi aferida por observações de campo.

MODELAÇÃO GEOESTATÍSTICA

A interpolação espacial da intensidade da doença da tinta foi determinada através de semivariogramas experimentais (Equação 1), ajustados a um modelo esférico (Equação 2). Onde $n(h)$ é o número de pares de árvores à distância h ; $Z(x_i)$ condição fitossnitária em cada localização x_i ; a , é o patamar do modelo, i.e. a maior distância considerada no modelo (Cressie, 1988).

$$y(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h}) - Z(\mathbf{x}_i)]^2 \quad (1);$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & ; \text{ quando } h \leq a \\ C & ; \text{ quando } h > a \end{cases} \quad (2)$$

O semivariograma $\gamma(h)$ foi estimado a partir dos valores empíricos $y(h)$ considerando 10 classes de distância h , e usando um método de regressão linear. A existência de anisotropia da variável aleatória $Z(\mathbf{x})$ foi testada nas direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE, usando uma tolerância angular de $\pm 22.5^\circ$, relativa a cada uma dessas direções principais.

Para a localização arbitrária (x_0), o valor da variável aleatória $Z(x_0)$ foi estimado por kriging ordinário, usando a fórmula de interpolação espacial (Equação 3), recomendada por Cressie (1988).

$$[Z(x_0)]^* = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha} Z(x_{\alpha}), \quad (3)$$

Para avaliar a qualidade do interpolador, foi aplicada a validação cruzada a 100 observações não usadas na estimação de $\gamma(h)$ ou na estimação por kriging ordinário dos coeficientes λ_{α} . Para esta validação foram usadas as Equações 4, 5 e 6, i.e., o Erro Médio Absoluto (MAE), o Erro Médio Absoluto percentual (MAE%) e o Erro Quadrado Médio Relativo (RMSE), que utilizam o erro $e(x_i)$ e a variância da predição do erro σ_0^2 (Cressie, 1988; Goovaerts, 1999).

$$MAE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |e(x_i)| \quad (4); \quad MAE\% = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left| \frac{e(x_i)}{z(x_i)} \right| * 100 \quad (5); \quad RMSE = \frac{1}{k} \left[\sum_{i=1}^k [e(x_i)]^2 \right] / \sigma_0^2 \quad (6)$$

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

FOTOINTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE DIFERENTES FORMATOS

Comparativamente com a câmara digital ou de 35 mm, o médio formato (70 mm) proporciona uma melhor discriminação das classes de estrago à sua maior resolução espacial. As outras câmaras também poderão ser usadas mas a uma altura de voo inferior, para obter uma resolução equivalente. Poderá também optar-se por um sistema digital com o elemento fotossensível (CCD = *charge coupled device*) de maiores dimensões. Isso possibilita aumentar a distância focal da objectiva de ângulo normal e melhorar a resolução. Neste estudo não se detectaram diferenças significativas entre a fotointerpretação de imagens CN ou IVP.

A classe média de estrago das árvores nos vários anos de observação não foi significativamente diferente, de acordo com o teste t Student para 95 % de probabilidade (Haiger, 1966). No entanto, o número de castanheiros mortos pela doença da tinta, aumentou desde 1995.

Até 2002, a mortalidade foi de 19.9 %, mas entretanto a população aumentou em 31.8 %, devido às novas plantações. Após essa data, o declínio da população foi evidente, pois as novas plantações (17.7 %) não foram suficientes para substituir as plantas entretanto removidas (Quadro 1)

Quadro 1. Número de castanheiros avaliados por fotointerpretação numa classe de estrago de. A classe de estrago media coma mesma letra (a) é igual de acordo com o teste t Sudent a 95 % de probabilidade.

Ano	Nº de Parcelas	Nº de Castanheiros	Castanheiros mortos	Castanheiros Plantados	Classe de Estrago
1995	268	2962	5.8 %	3.8 %	1.40±0.09 a
2002	93	1068	5.6 %	14.2 %	1.30±0.19 a
2003	97	1023	14.7 %	10.4 %	1.34±0.16 a
2004	87	912	12.6 %	7.3 %	1.37±0.20 a

MODELAÇÃO GEOESTATÍSTICA

Os semivariogramas experimentais com modelo esférico, ajustados aos dados de cinco anos de observações, revelaram um elevado efeito de pepita. Isso deve-se à elevada variabilidade espacial da doença.

O método de interpolação por krigagem revelou que as áreas mais afectadas pela doença da tinta em 1995 tornaram-se piores em 2002, 2003 e 2004. As observações de FAPF e de campo também permitiram constatar esse aumento. Depois de 2002, a continuidade entre áreas afectadas aumentou (Figura 2; Figura 3).

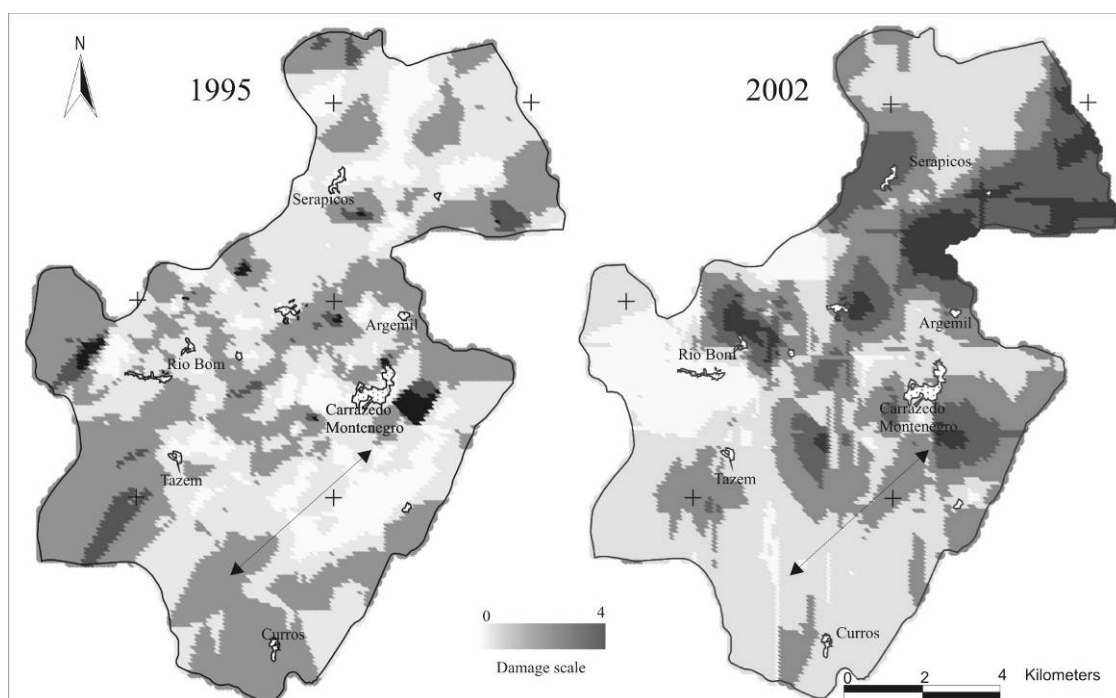


Figura 2. Dispersão da doença da tinta do castanheiro em 1995 e 2002 obtida por krigagem. As setas indicam a direcção preferencial da dispersão no azimute NE-SW. A malha utilizada na interpolação foi de 100 m².

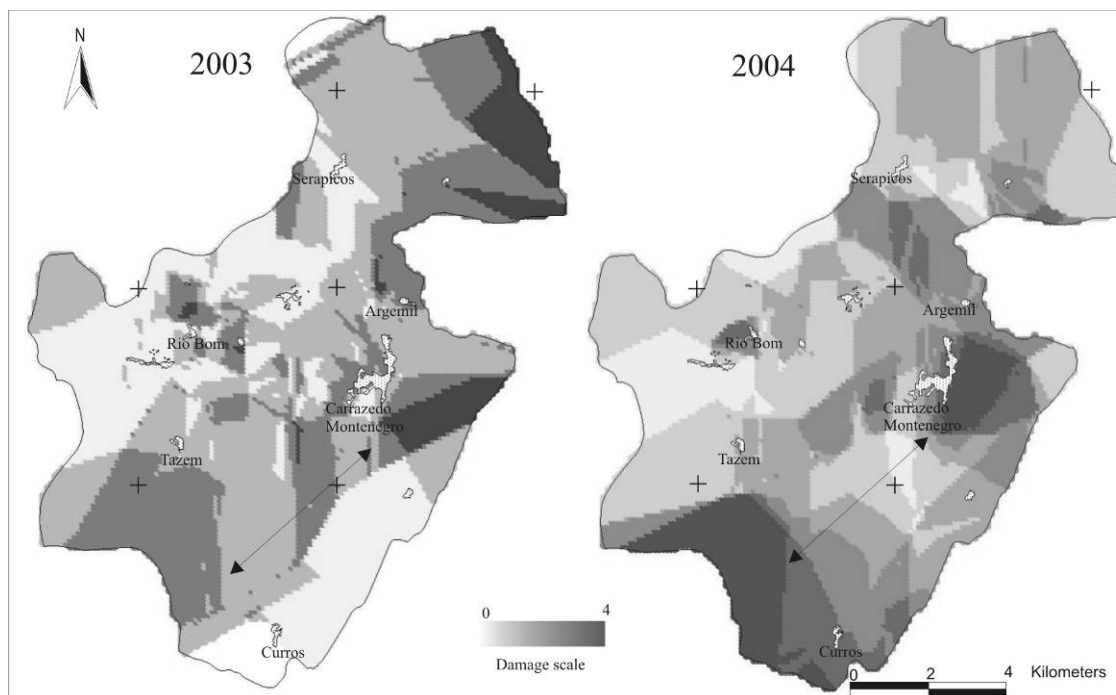


Figura 3. Dispersão da doença da tinta do castanheiro em 2003 e 2004 obtida por krigagem. As setas indicam a direcção preferencial da dispersão no azimute NE-SW. A malha utilizada na interpolação foi de 100 m².

Os “clusters” com maior incidência da doença foram confirmados por observações de campo. Além disso, os semivariogramas indicaram anisotropia no azimute NE-SW, correspondendo a áreas à mesma altitude.

Os coeficientes obtidos por validação cruzada revelaram que a interpolação foi aceitável em 1995 e 2002 (Quadro 2). Em 2003 e 2004 o valor de MAE% foi no entanto, superior, em parte pelo menor número de parcelas de amostragem na zona Sul da área de estudo. Essa área foi menos fotografada nesses anos pois muitos povoadamentos foram entretanto convertidos noutras culturas agrícolas ou florestais.

Quadro 2. Coeficientes obtidos na validação cruzada.

Year	k	$\hat{Z}(\mathbf{x}_i)$	σ_0^2	MAE	MAE %	RMSE
1995	2892	1.398	0.977	0.002	14.8 %	1.005
2002	1063	1.302	0.746	0.001	11.1 %	0.965
2003	1023	1.337	0.644	0.002	16.1 %	1.018
2004	912	1.373	0.952	0.003	19.3 %	1.045

CONCLUSÕES

A utilização de FAPF e o sistema de aquisição de imagens adoptado mostrou ser eficaz na monitorização da condição fitossanitária dos castanheiros. O custo deste tipo de cobertura não ultrapassa 15 % de um levantamento aerofotográfico convencional. A plataforma retráctil utilizada supera os inconvenientes do pequeno espaço da cabine do avião Cessna 172. As câmaras são, apesar de tudo, facilmente acessíveis do interior, possibilitando a rápida mudança de películas. Além disso as perturbações aerodinâmicas na aeronave são facialmente corrigidas durante a fase de disparo e durante a descolagem ou aterragem são minimizadas pois a plataforma fica recolhida.

As fotografias aéreas em película, CN ou IVP, possibilitaram a obtenção de informação precisa sobre a sanidade das árvores. Contudo, o recente incremento do equipamento digital, tanto na melhoria da resolução como da qualidade óptica, cria boas perspectivas da sua utilização futura em vez do equipamento analógico (35 ou 70 mm). Neste estudo apresentam-se os resultados da monitorização em diferentes anos e a quantificação da mortalidade e das novas plantações. Apenas com trabalho de campo este conhecimento seria muito mais difícil de obter.

Até à realização destes trabalhos, a dispersão e quantificação da incidência da doença da tinta não eram perfeitamente conhecidas em Portugal. A metodologia aqui apresentada provou ser eficaz e certamente pode ser usada noutras espécies e locais. A detecção de clusters com maior intensidade de ataque pode ainda permitir gerar hipóteses e estabelecer melhor as correlações com as práticas culturais utilizadas ou com parâmetros edafo-climáticos.

A modelação geostatística por vezes requer rotações ou transformações de forma a melhor ajustar aos dados os semivariogramas empíricos. Há, por vezes, condições no terreno que contribuem para a anisotropia do modelo (Richard, 1998; Snedecor and Cochran, 1982). Neste estudo, a dispersão da tinta obtida por kriging ordinário, segue uma direcção preferencial, relacionada com áreas à mesma altitude, onde as práticas culturais (mobilização do solo, p. ex.) ou mobilidade do homem são mais fáceis. Assim, a dispersão da doença pode ser feita pelo transporte de plantas ou solo afectado, contendo clamidósporos ou outros inóculos de *Phytophthora* spp., aspecto que também já foi referido por outros autores (Abreu, 1992; Martins *et al.*, 1999; Fonseca *et al.*, 2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.G., Chestnut ink disease: management practices and resistance. In: R.D. Wallace and L.G. Spinella (eds.), WORLD CHESTNUT INDUSTRY CONFERENCE, 1992., Morgantown, West Virginia, 1992. p. 153-157.

AMBROSINI, I., GHERARDI, L., VITI, M., MARESI, G. AND TURCHETTI, T., Monitoring diseases of chestnut stands by small format aerial photography. *Geocarto Internacional* 12 (3), 41-46, 1997.

BRASIER, C. M., ROBREDO, F. AND FERRAZ, J. P., Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology* 42, 140-145., 1993.

BÄRTSCHI, H., PEARSON, V.G. AND VEGH, I., Vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and root rot disease (*Phytophthora cinnamomi*) development in *Chamaecyparis lawsoniana*. *Phytopath. Z.* 102, 213-218., 1981.

BRANZANTI, M.B, ROCCA, E. AND ZAMBONELLI, A., Influenza di funghi ectomicorrizici su *Phytophthora cambivora* e *P. cinnamomi* del castagno. *Micologia Italiana* 23 (1), 47-52, 1994.

CRESSIE, N., The many faces of spatial prediction. In: M. Armstrong and K. Kluwer (eds.), *Geostatistics* (pp. 163-176). Dordrecht: Academic Publisher, 1988.

FONSECA, T.F, ABREU, C.G. AND PARRESOL, B.R., Soil compaction and chestnut ink disease. *For. Path.* 34, 273-283, 2004.

GOOVAERTS, P., *Geostatistical for natural resources evaluation*. Oxford: University of Michigan, pp. 240., 1999.

HAIGER, A., *Biometrische Methoden in der Tierproduktion*. Bad Vöslau: Österreichische Agrarverlag Wien, pp. 128., 1966.

KRIGE, D. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afr.* 52 (6), 119-139, 1951.

LILLESAND, T.M. AND KIEFER, R.W., Remote sensing and image interpretation. New York: John Wiley and Sons, Inc., Fourth Edition, pp. 725, 2000.

MARTINS, L.M., F. W. MACEDO, C. P. MARQUES e C. G. ABREU, Assessment of chestnut ink disease spread by geostatistical methods. *Acta Horticulturae* 693: 621-625, 2005.

MARTINS, L. M., OLIVEIRA, M. T. AND ABREU, C. G., Soils and climatic characteristic of chestnut stands that differ on the presence of the ink disease. *Acta Horticulturae* 494, 447-449, 1999.

MARTINS, L.M. E C. G. ABREU, Solos supressivos: um meio de luta cultural contra a doença da tinta do castanheiro. *Revista de Biologia* 16: 113-117, 1997.

MARTINS, L.M., LUFINHA, M.I., MARQUES, C.P. AND ABREU, C.G., Small format aerial photography to assess chestnut ink disease. *For. Snow Landsc. Res.* 73 (3), 357-360, 2001.

MEYER, M. P., Place of small-format aerial photography in resources surveys. *Journal of Forestry* 80 (3), 15-17, 1982.

RICHARD W., Sampling estimating and understanding soil pollution. In: J. Gomez-Hernandez, A. Soares and R. Froidevaux (eds.), *Second European Conference on Geostatistics for Environmental Applications* (pp. 25-37). Valencia, 1998.

PORTELA, E., ARANHA, J., MARTINS, A. AND PIRES, A.L., Soil factors, farmer's practices and chestnut ink disease: some interactions. *Acta Horticulturae* 494, 433-441, 1998.

SNEDECOR, J.P. AND COCHRAN W., *Statistical methods*. The Iowa St.: University Press, 7^a ed. Aims, pp. 507, 1982.

WARNER, W.S., GRAHAM, R.W. AND READ, R.E., *Small format aerial photography*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 348, 1996.